

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09181705 A**(43) Date of publication of application: **11.07.97**

(51) Int. Cl. **H04J 14/00**
H04J 14/02
H04B 10/02
H04B 10/18
H04L 5/02

(21) Application number: **07337091**(22) Date of filing: **25.12.95**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**(72) Inventor: **SUGIYAMA AKIRA**
YOKOTA IZUMI

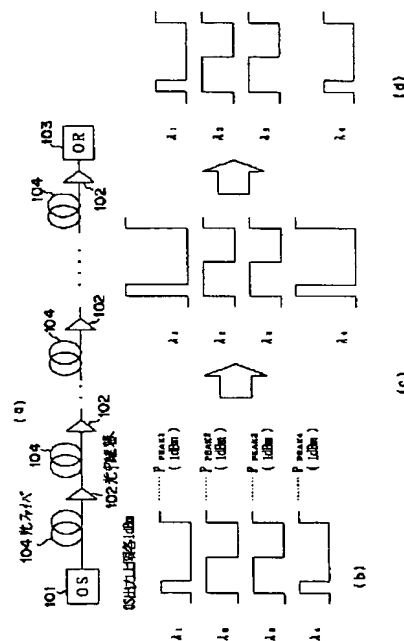
(54) **WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL COMMUNICATION METHOD USING RZ SIGNAL, WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL TRANSMISSION EQUIPMENT USING RZ SIGNAL AND WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL COMMUNICATIONS SYSTEM USING RZ SIGNAL**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To control a mutual phase modulation effect by using signal light encoded through a return to zero (RZ) type transmission encode system.

SOLUTION: This system is composed of an optical transmitter OS 101, optical repeater 102, optical receiver OR 103 and optical fiber 104. Then, an RZ signal form is adopted as the transmission encoding form so that the mutual phase modulation effect can be suppressed by lowering probability to overlap signal components at the same level between plural signal light. Next, by diverting an existent submarine repeated system or the like, ALC control is performed based on average power at the optical repeated 102 generally on the assumption that its output power is fixed. Further, by varying the duty of signal at a digital signal processing step, the average power of signal light is controlled constant at the repeater 102 and as result, the peak power of signal light can be varied.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-181705

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J	14/00		H 0 4 B 9/00	E
	14/02		H 0 4 L 5/02	
H 0 4 B	10/02		H 0 4 B 9/00	M
	10/18			
H 0 4 L	5/02			

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願平7-337091	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成7年(1995)12月25日	(72) 発明者	杉山 晃 北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地 富士通北海道デジタル・テクノロジー株式会社内
		(72) 発明者	横田 泉 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 大曾 義之 (外1名)

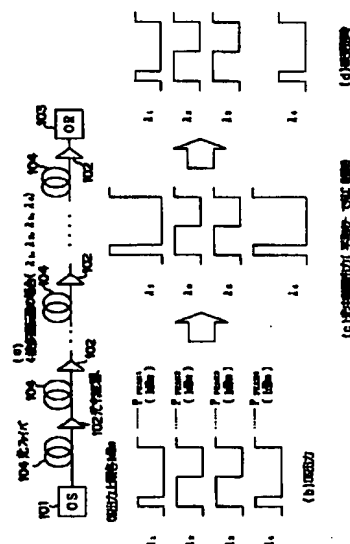
(54) 【発明の名称】 R Z 信号を用いた波長多重光通信方法、R Z 信号を用いた波長多重光送信装置、及び R Z 信号を用いた波長多重光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 1本の光ファイバ上で複数の波長を用いて複数チャネルのデータを伝送する波長多重光通信技術に関し、相互位相変調による問題点、プリエンファシスにおける問題点(波長間隔の問題点も含む)、システムのエイジング及びケーブルの割り入れ修理による問題点、及び波長多重による SNR の劣化の問題点を全て同時に解決することにある。

【解決手段】 伝送符号化形式として R Z 信号形式が採用されることにより、相互位相変調効果が抑制される。各信号光のデューティがデジタル信号処理段で可変させられることにより、光中継器において各信号光の平均パワーが一定になるように制御される結果、各信号光のピークパワーが可変させられる。この結果、各信号光の伝送特性を可変することができる。

本発明の実施の形態の原理説明図(1)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを伝送する波長多重光通信方法において、

前記各信号光の伝送符号化形式をリターン・ゼロ形式とし、

前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光の伝送特性を可変する、

過程を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信方法。

【請求項2】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを伝送する波長多重光通信方法において、

前記各信号光の伝送符号化形式をリターン・ゼロ形式とし、

前記各信号光のパワー及びデューティーを可変することにより、前記各信号光の伝送特性を可変する、

過程を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信方法。

【請求項3】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを伝送する波長多重光通信方法において、

前記各信号光の伝送符号化形式をリターン・ゼロ形式とし、

前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光のプリエンファシスを行う、

過程を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信方法。

【請求項4】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを伝送する波長多重光通信方法において、

前記各信号光の伝送符号化形式をリターン・ゼロ形式とし、

前記各信号光のパワー及びデューティーを可変することにより、前記各信号光のプリエンファシスを行う、

過程を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信方法。

【請求項5】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを伝送する波長多重光通信方法において、

前記各信号光の伝送符号化形式をリターン・ゼロ形式とし、

前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光の伝送特性の経年変化又はケーブル修理による劣化を補償する、

過程を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信方法。

【請求項6】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを伝送する波長多重光通信方法において、

既存の光通信システムがアップグレードされる場合に、前記各信号光の伝送符号化形式をリターン・ゼロ形式とし、

波長多重される前記各信号光の数に応じて前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光の伝送特性を調整する、

過程を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信方法。

10 【請求項7】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを送信する波長多重光送信装置において、

伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式である前記各信号光を生成する信号光生成回路と、

該信号光生成回路において生成される前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光の伝送特性を可変するデューティー可変回路と、

を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光送信装置。

20 【請求項8】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを送信する波長多重光送信装置において、

伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式である前記各信号光を生成する信号光生成回路と、

該信号光生成回路において生成される前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光に対してプリエンファシスを行うプリエンファシス回路と、

を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光送信装置。

30 【請求項9】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを送信する波長多重光送信装置において、

伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式である前記各信号光を生成する信号光生成回路と、

該信号光生成回路において生成される前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光の伝送特性の経年変化又はケーブル修理による劣化を補償する補償回路と、

を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光送信装置。

40 【請求項10】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャンネルのデータを送信する波長多重光送信装置において、

伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式である前記各信号光を生成する信号光生成回路と、

波長多重される前記各信号光の数に応じて前記各信号光のデューティーを可変することにより、前記各信号光の伝送特性を調整する調整回路と、

を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光送信装置。

50 【請求項11】 請求項7乃至9の何れか1項に記載の

波長多重光送信装置と共に用いられ、前記光ファイバから波長多重された複数の波長の信号光を受信する波長多重光受信装置において、

前記光ファイバから受信した信号光全体のスペクトルを分析する光スペクトラム分析手段と、

該光スペクトラム分析手段の分析結果に基づいて、前記波長多重光送信装置に対してデューティを可変させるための制御情報を通知するデューティ可変制御情報通知手段と、

を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光送信装置。

【請求項12】 請求項7乃至9の何れか1項に記載の波長多重光送信装置を含み、1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャネルのデータを伝送する波長多重光通信システムにおいて、

前記光ファイバから受信した信号光全体のスペクトルを分析する光スペクトラム分析手段と、

該光スペクトラム分析手段の分析結果に基づいて、前記波長多重光送信装置に対してデューティを可変させるための制御情報を通知するデューティ可変制御情報通知手段と、

を含み、前記光ファイバから波長多重された複数の波長の信号光を受信する波長多重光受信装置を含む、

ことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信システム。

【請求項13】 1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャネルのデータを伝送する波長多重光通信方法において、

前記各信号光の伝送符号化形式をリターン・ゼロ形式とし、

信号光波長として波長に対する遅延時間の変化分が負となる波長を用いる、

過程を含むことを特徴とするRZ信号を用いた波長多重光通信方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、1本の光ファイバ上で複数の波長を用いて複数チャネルのデータを伝送する波長多重光通信技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、EDF（エルビウム・ドープト・ファイバ）等の光ファイバを用い光増幅及び光中継を行ってデジタルデータを伝送する光通信方式が実現されてきている。従来の1波のみの信号光の光増幅中継システムでは、伝送符号化形式がNRZ（ノン・リターン・ゼロ）信号の形式とされ、伝送路にDSFファイバ（分散シフトファイバ）を使用し、負の分散波長を用い、最適な分散マネジメントを行うことにより、デジタルデータが伝送されていた。まず、これらの基礎技術につき以下に説明する。

【0003】 図8に示されるように、光ファイバにはゼロ分散波長が存在する。これは、信号の遅延時間が0となるような波長である。信号光を伝送する光ファイバとして一般的なDSFファイバにおいては、ゼロ分散波長が1.5625 μm となる。光ファイバ上の信号の波長に対する遅延時間の関係を示す分散特性は、図8に示されるように、ゼロ分散波長を極小値とする2次曲線特性を有する。そして、DSFファイバにおいては、ゼロ分散波長よりも短い1.5585 μm 程度の波長が、信号光波長として使用される。この場合、上記信号光波長付近の分散特性は、信号光の波長が長くなると遅延時間が減少し波長が短くなると遅延時間が増加するような、負の分散特性となる。この分散値は、上記信号光波長において、-0.3ps $\text{ec}/\text{nm}/\text{km}$ （ピコ秒/ナノメートル/キロメートル）程度である。即ち、上記信号光波長を有する信号光がDSFファイバ上を1000km伝送される場合において、信号光の波長が信号光波長から1nm増加した場合は、信号光は-300ps ec 遅延することになる。

【0004】 一方、図9に示されるようなデジタル信号が直接変調されて得られる信号光が光ファイバ上を伝送される場合、信号光は、常に信号光波長で伝送される訳ではなく、図10に示されるように、信号光波長を中心として所定の分散をもって伝送される。

【0005】 従って、信号光がDSFファイバのような光ファイバ上を上述したような信号光波長を中心として伝送されると、信号光波長を中心とする信号光を構成する各波長の成分毎に光の到達速度が異なる結果となり、受信側において信号光の波形のなまり等の劣化を生じることになる。

【0006】 遅延が生じないように信号光を伝送するためには、理論的にはゼロ分散波長で信号光を伝送すればよいが、DSFファイバでは、4光波混合や光パラメトリックと呼ばれる非線形効果によって、ゼロ分散波長において雑音が増大に増加されてしまう特性を有し、また、モジュレーションインスタビリティと呼ばれる非線形効果によって、正の分散波長において雑音が急激に増幅されてしまう特性も有している。そのため、信号光は一般に負の分散波長で伝送されることになる。

【0007】 そこで、負の分散波長における信号遅延を補償するために、従来、分散マネジメントという技術が用いられている。分散マネジメントとは、DSFファイバの一定長毎に、シングルモードファイバであるDCF（分散補償ファイバ）を挿入することにより、図11に示されるように、信号光波長を中心とする一定の波長範囲において、遅延時間が0になるように補償する技術である。

【0008】 より具体的には、図12に示されるように、DSFファイバ上において、信号光は、信号光波長付近において（*）に示されるような波長の広がりを持つ。この場合、前述したように、DSFファイバのゼ

ロ分散波長は $1.5625\mu\text{m}$ であって、信号光波長は $1.5585\mu\text{m}$ 程度であるため、信号の波長に対する遅延時間の関係を示す分散特性は、負の分散特性となる。一方、DCFファイバのゼロ分散波長は $1.31\mu\text{m}$ 程度であって、信号光波長 $1.5585\mu\text{m}$ はDCFファイバのゼロ分散波長 $1.31\mu\text{m}$ よりも長くなるため、図12に示されるように、DCFファイバ上での上記信号光波長における分散特性は、信号光の波長が長くなると遅延時間が増加し波長が短くなると遅延時間が減少するような、正の分散特性となる。従って、DSFファイバの一定長毎にDCFファイバが挿入されることによって、DSFファイバによる負の分散特性がDCFファイバによる正の分散特性によってキャンセルされ、信号光波長を中心とする一定の波長範囲において、遅延時間が0になるような補償が実現される。この場合に、DSFファイバ上での上記信号光波長付近での分散値は -0.3psec/nm/km 程度であり、一方、DCFファイバ上での上記信号光波長付近での分散値は $+20\text{psec/nm/km}$ 程度であるため、挿入されるDCFファイバの長さはDSFファイバの長さに比較して短くてよい。

【0009】以上説明した光増幅中継技術を基礎として、近年、伝送容量の増加に伴い、光増幅中継システムの利点の1つであるビットレートフリー特性を利用して、既存の伝送路を流用し端局構成のみを変更することにより、1本の光ファイバ上で複数の波長を用いて複数チャンネルのデジタルデータを伝送する波長多重方式が実用化されようとしている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかし、既存の伝送路上で波長多重伝送方式を実現する場合には、以下に示すような問題点が存在する。

問題点1：相互位相変調による問題点

まず、一般に、光ファイバ上で1つの信号光が伝送される場合に、自己の信号光の強度変化が自己の信号光の位相変化を生じさせる結果、信号光波長の分散が大きくなる、自己位相変調(Self Phase Modulation)と呼ばれる効果が存在する。この効果により生じる分散は、前述した最適な分散マネジメントによって補償することができる。

【0011】更に、複数の信号光が波長多重伝送される場合には、相互位相変調(CrossPhase Modulation)と呼ばれる効果が発生することが知られている。今、図13(a)に示されるように、波長 λ_1 の信号光と波長 λ_2 の信号光とが多重伝送される場合に、光ファイバ内での2つの信号光の伝送速度は異なるため、それらの位相は一般に同期しない。この場合に、図13(b)に示されるように、波長 λ_2 の信号光の強度変化が波長 λ_1 の信号光の位相変化を生じさせ、逆に、波長 λ_1 の信号光の強度変化が波長 λ_2 の信号光の位相変化を生じさせるとい

う、相互位相変調が発生する。この結果、2つの信号光

の受信時のスペクトルは、図13(c)に示されるように、図13(a)に示される送信時のスペクトルと比較して、広がってしまい、信号光の波形が劣化することになる。この相互位相変調効果は、複数の信号光間で同一レベルの信号成分が重なる確立の高いNRZ信号を用いた波長多重伝送において、特に顕著に発生する。

問題点2：プリエンファシスにおける問題点

波長多重伝送が行われる場合に、光中継器において信号光の利得がその波長に依存するという、セルフフィルタリング効果によって、伝送後の各チャンネルの信号光において伝送特性の違いが生じる。今、図14(a)に示されるような、光送信器(OS:Optical Sender)1401、光中継器1402、光受信器(OR:Optical Receiver)1403、及び光ファイバ1404からなる光通信システムを考える。このシステムにおいて、図14(b)の送信スペクトルとして示されるように、各チャンネル間でレベルが同じで波長が異なる複数の信号光が光送信器1401から送信された場合に、それらの信号光が光ファイバ及び光中継器1402を伝送される途中において図14(c)のスペクトル中の斜線部として示される雑音成分が重畳されることと上述のセルフフィルタリング効果によって、図14(d)のスペクトルとして示されるように、光受信器1403においては、受信された各チャンネルの信号光のレベルが異なってしまう。

【0013】このような問題点を解決する技術として、受信時の光レベルが一定となるように予め光レベルに差をもたせて波長が異なる複数の信号光を送信するプリエンファシスという技術が知られている。即ち、図14(a)と同様の図15(a)に示されるような光通信システムにおいて、図15(b)の送信スペクトルとして示されるように、各チャンネル間で光レベルに差がもたせられ波長が異なる複数の信号光が光送信器1401から送信されることにより、光ファイバ及び光中継器1402を伝送される途中においてそれらの信号光のスペクトルが図15(c)に示されるように変化し、光受信器1403においては、受信された各チャンネルの信号光のレベルが揃う結果となる。

【0014】しかし、従来のNRZ信号を用いた波長多重伝送において上述のプリエンファシスが行われる場合、光送信器1401の光出力に上限があるため、伝送後の光レベルを全ての信号波長で同じにしようとすると、波長によっては出力パワーをさげなくてはならない。今、図14(a)と同様の図16(a)に示されるような光通信システムにおいて、波長がそれぞれ λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、及び λ_4 である4種類の信号光が多重伝送される場合に、前述したプリエンファシスが行われなければ、光送信器1401において、それぞれの信号光の

10
20
30
40
50

ピークパワー（ P_{PEAK} ）は例えば+1dBmに設定される。しかし、この場合には、図16(b)に示されるように、光受信器1403において、例えば波長 λ_1 及び λ_4 の各信号光のレベルが減少してしまっており、それらの信号光のSNR（信号対雑音比）が低下してしまう。一方、前述したプリエンファシスが行われる場合は、図16(c)に示されるように、光送信器1401において、例えば波長 λ_2 及び λ_3 の各信号光のピークパワーが0.5dBmに設定される。この結果、図16(c)に示されるように、光受信器1403において、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の各信号光のレベルが揃うが、そのレベルは低いものになってしまう。この結果、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の全ての信号光において、各信号光のレベルと雑音レベルとの差が小さくなってしまい、全ての信号光のSNR（信号対雑音比）が低下してしまう。

問題点3：波長間隔が狭められた場合の問題点

上述した問題点2は、使用波長帯域が広いほど前述したセルフフィルタリング効果が顕著になる。このために、使用波長帯域を、図17(a)に示される例えば4.0nmから図17(b)に示される2.0nmというように、狭める必要が生じる。これによって、ある程度セルフフィルタリング効果を弱めることができ、前述したプリエンファシスが行われても、各信号光のSNRの低下を抑制することができる。

【0015】しかし、使用波長帯域が狭められると、今度は光ファイバの非線形効果の影響が増大し、信号光の伝送特性が著しく劣化してしまうという問題点が生じる。また、近接する波長のクロストークを抑制するために、光受信器において狭帯域の光フィルタを使用しなければならず、信号光波長の経時変動に対応できる波長追従型フィルタの開発、光送信器の波長固定技術の開発等の新技術の開発が必要になってしまうという問題点を有している。

問題点4：システムのエイジング及びケーブルの割り入れ修理による問題点

従来から、光通信システムのエイジング（経年変化）、光ファイバケーブルの割り入れ修理等によって、スパンロスの増加及び光中継器の出力低下等が生じ、伝送特性が劣化することが知られている。そのために、光通信システムの設計時に、エイジングやケーブルの割り入れ修理等のためのマージンを考慮する必要があり、光ファイバの中継間隔を制限する要因の1つとなっていた。

問題点5：波長多重によるSNRの劣化の問題点

問題点2でも言及したが、既に敷設されている既存の光通信システムが、波長多重方式によってアップグレードされる場合に、特に海底中継システム等の光中継器においては、一般に平均パワーに基づいてALC制御（自動レベル制御）が行われたため、その出力パワーは一定となる。従って、このような光中継器を含む海底中継システム等においては、光中継器の出力を容易に変更すること

ができないため、多重される波長数に応じて1波当たりの光の平均パワーを下げて伝送する必要が生じる。例えば、既存の光通信システムが、図18(a)に示されるように、伝送速度が5Gb/s（ギガビット/秒）のデジタル信号が、NRZ信号の伝送符号化形式で、ピークパワー（ P_{peak} ）が+7dBm、平均パワー（ P_{ave} ）が+4dBmの1波の信号光により伝送されているとする。そして、この光通信システムが、図18(b)に示されるように、それぞれ伝送速度が5Gb/sの4種類のデジタル信号が、NRZ信号の伝送符号化形式で、4波の信号光により波長多重伝送される場合には、合計の平均パワーが+4dBmになるように、1波あたり信号光ではピークパワーを+1dBm、平均パワーを-2dBmに抑制する必要が生じる。

【0016】この結果、1波当たりのSNRが劣化し、要請される伝送特性を確保できなくなってしまうという問題点が生じる。上述の問題点のうち、問題点1を解決するための技術として、光ファイバの正の分散波長領域において雑音の発生が少なくかつ分散も小さい領域が存在することに注目することによって、信号光を正の分散波長で伝送すると共に、その信号光の伝送符号形式をRZ（リターン・ゼロ）信号としたソリトン伝送方式と呼ばれる伝送方式が提案されている。

【0017】まず、RZ信号は、NRZ信号に比較して、実効伝送速度が高くなるため、性能の高い通信機器を要求する。このため、従来の光通信システムにおいてはNRZ信号の方が利用されていたが、近年では、性能の高い機器が容易に提供されるようになってきたため、RZ信号の利用が可能になりつつある。

【0018】前述したように、波長多重伝送にNRZ信号が使用された場合、図19(a)に示されるように、複数の信号光間で同一レベルの信号成分が重なる確立が高いため、相互位相変調効果が顕著に発生する。これに対して、波長多重伝送にRZ信号が使用された場合、図19(b)に示されるように、複数の信号光間で同一レベルの信号成分が重なる確立が低くなるため、相互位相変調効果を抑制することができる。また、NRZ信号では、図20(a)のアイパターンからわかるように、論理レベル“1”が連続する部分が存在するため、アイが狭くなり、符号間干渉を起こしやすいのに対して、RZ信号では、図20(b)のアイパターンからわかるように、論理レベル“1”が連続する部分が存在しないため、アイが広く、符号間干渉を起こしにくいという特徴も有する。ソリトン伝送方式は、このような特性を有するRZ信号によって直接変調された信号光を正の分散波長で伝送する方式である。

【0019】しかし、上述のソリトン伝送方式では、既存の光ファイバを流用することができないため、従来の光ファイバを全て交換する必要が生じる。このため、この方式による光通信システムの敷設に大きなコストがか

かるという問題点を有している。

【0020】本発明の課題は、相互位相変調による問題点、プリエンファシスにおける問題点（波長間隔の問題点も含む）、システムのエージング及びケーブルの割り入れ修理による問題点、及び波長多重によるSNRの劣化の問題点を全て同時に解決することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明は、1本の光ファイバ上で複数の波長の信号光を用いて複数チャネルのデータを伝送する波長多重光通信方法、又はそれと同等の機能

【0022】本発明の第1の態様では、各信号光の伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式とされ、各信号光のデューティが可変させられることにより、各信号光の伝送特性が可変させられる。

【0023】上述した本発明の第1の態様の構成により、相互位相変調効果を抑制することができると共に、既存の光ファイバ及び光中継器を交換することなく端局装置の変更だけで、各信号光の平均パワーを変更することなく各信号光の伝送特性を可変することが可能となる。

【0024】本発明の第2の態様では、各信号光の伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式とされ、各信号光のパワー及びデューティが可変させられることにより、各信号光の伝送特性が可変させられる。

【0025】上述した本発明の第2の態様の構成により、本発明の第1の態様の特徴に加えて、更に精密な伝送特性の可変が可能となる。本発明の第3の態様では、各信号光の伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式とされ、各信号光のデューティが可変させられることにより、各信号光のプリエンファシスが行われる。

【0026】上述した本発明の第3の態様の構成により、各信号光のデューティを可変するだけで各信号光の平均パワーを変更することなく各信号光のプリエンファシスを行うことが可能となり、SNR特性に優れた光通信が可能となる。

【0027】また、使用波長帯域を狭める必要もなくなるため、使用波長帯域が狭められることによる光ファイバの非線形効果の影響の増大もなく、また、光受信器において狭帯域の波長追従型光フィルタを使用する必要もない。

【0028】本発明の第4の態様では、各信号光の伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式とされ、各信号光のパワー及びデューティが可変させられことにより、各信号光のプリエンファシスが行われる。

【0029】上述した本発明の第4の態様の構成により、本発明の第3の態様の特徴に加えて、更に精密なプリエンファシスが可能となる。本発明の第5の態様では、各信号光の伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式とされ、各信号光のデューティが可変させられることにより、各信号光の伝送特性の経年変化又はケーブル修理による劣化が補償される。

より、各信号光の伝送特性の経年変化又はケーブル修理による劣化が補償される。

【0030】上述した本発明の第5の態様の構成により、信号光のデューティを可変するだけで、光ファイバケーブルの割り入れ修理による各信号光のレベルの低下や、光通信システムのエージング（経年変化）による光中継器の出力の低下等に対応することができる。

【0031】本発明の第6の態様では、既存の光通信システムがアップグレードされる場合に、各信号光の伝送符号化形式がリターン・ゼロ形式とされ、波長多重される各信号光の数に応じて各信号光のデューティが可変させられることにより、各信号光の伝送特性が調整される。

【0032】上述した本発明の第6の態様の構成により、信号光のデューティを可変するだけで、既存の光通信システムをアップグレードすることが可能となる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について詳細に説明する。図1～図4は、本発明の実施の形態の基本原理解を示す原理説明図である。

【0034】図1(a)に示されるように、光送信器(OS: Optical Sender)101、光中継器102、光受信器(OR: Optical Receiver)103、及び光ファイバ104からなる光通信システムを考える。

【0035】本実施の形態における波長多重方式による信号光の光増幅中継システムでは、伝送符号化形式としてRZ（リターン・ゼロ）信号の形式を使用し、伝送路に既存のDSFファイバ（分散シフトファイバ）を使用し、負の分散波長を用い、図8～図12で説明した最適な分散マネジメントを行うことを前提とする。

【0036】まず、RZ信号形式の採用により、図19(b)を用いて前述したように、複数の信号光間で同一レベルの信号成分が重なる確立が低くなることによる相互位相変調効果の抑制が実現される。

【0037】次に、本実施の形態では、既存の海底中継システム等を流用することから、光中継器102では一般に平均パワーに基づいてALC制御（自動レベル制御）が行われ、その出力パワーは一定であることを前提とする。

【0038】そして、本実施の形態では、その最大の特徴として、デジタル信号処理段で信号のデューティを可変することにより、光中継器102において信号光の平均パワーが一定になるように制御される結果、信号光のピークパワーを可変可能とすることを特徴とする。

【0039】まず、光中継器102における前述したセルフフィルタリング効果により、光ファイバ104上を波長多重伝送され光受信器103において受信された4種類の信号光の波長がそれぞれ λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、及び λ_4 である場合において、プリエンファシスが行われな

い場合に、波長 λ_1 及び λ_4 の各信号光のレベルが、波長 λ_2 及び λ_3 の各信号光のレベルより低くなる場合には、図1(b)に示されるように、光送信器101において、波長 λ_1 及び λ_4 の信号光のデューティーがデジタル信号処理段で減少させられると共に、それぞれの信号光のピークパワー(P_{PEAK})は例えば+1dBmに設定される。

【0040】その後、光ファイバ104に送出された4波からなる波長多重信号光が、各光中継器102において、信号光の平均パワーが一定になるようにA/LC制御されながら増幅中継される。この結果、セルフフィルタリング効果が発生しないと仮定した場合は、図1(c)に示されるように、波長 λ_1 及び λ_4 の各信号光のピークパワーは、波長 λ_2 及び λ_3 の各信号光のピークパワーよりも大きくなることになり、実際にセルフフィルタリング効果が発生すると、上述のピークパワーの差がその効果によって相殺される。これにより、図1(d)に示されるように、光受信器103が受信する波長 λ_1 及び λ_4 の各信号光のピークパワーと波長 λ_2 及び λ_3 の各信号光のピークパワーが揃う結果となる。

【0041】従って、図2に示されるように、光受信器103による各信号光の受信時に、各信号のSNRの劣化を抑制することができる。また、使用波長帯域を図2に示される例えば4.0nmよりも狭める必要はなくなるため、使用波長帯域が狭められることによる光ファイバの非線形効果の影響の増大もなく、また、光受信器103において狭帯域の波長追従型光フィルタを使用する必要もない。

【0042】なお、デューティーが可変されても信号のタイミングはずれないため、問題は発生しない。以上の原理により、前述した問題点1、2、及び3が同時に解決される。

【0043】次に、図3(b)に示されるように、例えば光ファイバケーブルの割り入れ修理によって、波長多重伝送される例えば波長 λ_1 及び λ_2 の各信号光のレベルが低下しSNRが劣化した場合には、図3(c)に示されるように、光送信器101において、波長多重される全ての信号光のデューティーがデジタル信号処理段で減少させられる。

【0044】その後、光ファイバ104に送出された各信号光が、各光中継器102において、信号光の平均パワーが一定になるようにA/LC制御されながら増幅中継されることにより、各信号光のデューティーの可変によるピークパワーの増加がケーブルの割り入れによるレベル低下の効果によって相殺され、図3(c)に示されるように、光受信器103が受信する各信号光のレベルの低下が抑制される。

【0045】上述の原理は、光通信システムのエイジング(経年変化)による光中継器102の出力の低下等に対しても、全く同様に適用することができる。以上の原

理により、前述した問題点4が解決される。

【0046】続いて、前述したように、既に敷設されている既存の光通信システムが、波長多重方式によってアップグレードされる場合において光中継器102の出力を容易に変更することができない場合には、多重される波長数に応じて1波当たりの平均パワーを下げて伝送する必要が生じる。

【0047】ここで、例えば既存の光通信システムが、図4(a)に示されるように、伝送速度が5Gb/sのデジタル信号が、NRZ信号の伝送符号化形式で、ピークパワー(P_{peak})が+7dBm、平均パワー(P_{ave})が+4dBmの1波の信号光によって伝送されているとする。そして、この光通信システムが、それぞれ伝送速度が5Gb/sの4種類のデジタル信号が4波の信号光によって波長多重伝送される場合、本実施の形態においては、伝送符号化形式がRZ信号の形式に変更された上で、1波当たりの平均パワーが+1dBm(合計の平均パワーが+4dBm)になるようにすると共に、ピークパワーが+7dBmを維持するように、各信号光のデューティーのみがデジタル信号処理段で可変される。

【0048】この結果、光受信器103が受信する各信号光のレベルの低下が抑制され、SNRの劣化による伝送特性の劣化が抑制される。以上の原理により、前述した問題点5が解決される。

【0049】以上説明したように、本実施の形態では、伝送符号化形式としてRZ信号形式を採用すると共に、デジタル信号処理段で信号のデューティーを可変することにより、前述した5つの問題点を同時に解決することが可能となる。

【0050】次に、図5は、本実施の形態におけるRZ信号生成回路の構成図である。RZ信号生成用のクロック502と、伝送されるべきデジタル信号のデータ501とがアンド回路503に入力されることにより、データ501に対応するRZ信号504が出力される。

【0051】図6は、本実施の形態におけるデューティー可変回路の構成図である。この回路は、図5のアンド回路503に入力されるクロック502のデューティーを可変する回路として実現される。

【0052】クロック502は、特には図示しない発振器からのアナログ信号の発振器出力601がゲート回路603においてゲート処理されることにより生成される。この場合に、ゲート回路603において、クロック502の論理値“1”と論理値“0”を生成するためのゲート閾値電圧602が可変させられることにより、クロック502のデューティーが図6の実線と破線で示されるように可変させられる。

【0053】このようデューティーが可変させられるクロック502が図5のアンド回路503に入力することにより、RZ信号504のデューティーも可変させられることになる。

【0054】図7は、デューティーの可変制御系統を含む本発明による光通信システムの実施の形態の全体構成図である。図7において、図1(a)に示される各機能部分と同じ番号が付与された各部分は、それぞれ図1(a)の場合と同様の機能を有する。

【0055】光受信器103内には、波長多重された信号光を受信する受信機701のほかに、受信した信号光全体のスペクトルを分析する光スペクトラムアナライザ702が設けられる。

【0056】光スペクトラムアナライザ702の分析結果に基づき、制御回路703において、どの波長の信号光のデューティーをどの程度可変するかが決定される。そして、所望の波長の信号光のデューティーを可変させるための制御信号705が、対回線704（光受信器103側から光送信器101側へ戻る信号回線）を用いて、光送信器101に通知される。

【0057】光送信器101内の特には図示しない制御回路は、制御信号705に基づき、所望の波長のチャネルに対応する図6に示されるゲート回路603のゲート閾値電圧602を制御することにより、そのチャネルのデューティーを可変する。

【0058】以上説明した本発明の実施の形態において、波長多重される波長数は任意に設計することができる。また、伝送路に既存のDSFファイバ（分散シフトファイバ）を使用することと、負の分散波長を用いることは、本発明の必須の要件ではない。

【0059】更に、本実施の形態におけるデューティーによるプリエンファシスと、従来のパワーによるプリエンファシスとを組み合わせることによっても大きな効果を得ることができる。

【0060】また、伝送符号化形式としてRZ（リターン・ゼロ）信号の形式を使用し、伝送路に既存のDSFファイバ（分散シフトファイバ）を使用し、負の分散波長を用いることも本発明の範囲である。

【0061】

【発明の効果】まず、本発明によれば、リターン・ゼロ形式の伝送符号化形式によって符号化された信号光が用いられることにより、相互位相変調効果を抑制することが可能となる。

【0062】本発明の第1の態様によれば、既存の光ファイバ及び光中継器を交換することなく端局装置の変更だけで、各信号光の平均パワーを変更することなく各信号光の伝送特性を可変することが可能となる。

【0063】本発明の第2の態様によれば、本発明の第1の態様の効果に加えて、更に精密な伝送特性の可変が可能となる。本発明の第3の態様によれば、各信号光のデューティーを可変するだけで各信号光の平均パワーを変更することなく各信号光のプリエンファシスを行うことが可能となり、SNR特性に優れた光通信が可能となる。

【0064】また、使用波長帯域を狭める必要もなくなるため、使用波長帯域が狭められることによる光ファイバの非線形効果の影響の増大もなく、また、光受信器において狭帯域の波長追従型光フィルタを使用する必要もない。

【0065】本発明の第4の態様によれば、本発明の第3の態様の効果に加えて、更に精密なプリエンファシスが可能となる。本発明の第5の態様によれば、信号光のデューティーを可変するだけで、光ファイバケーブルの割り入れ修理による各信号光のレベルの低下や、光通信システムのエイジング（経年変化）による光中継器の出力の低下等に対応することが可能となる。

【0066】本発明の第6の態様によれば、信号光のデューティーを可変するだけで、既存の光通信システムをアップグレードすることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の原理説明図（1）である。

【図2】本発明の実施の形態の原理説明図（2）である。

【図3】本発明の実施の形態の原理説明図（3）である。

【図4】本発明の実施の形態の原理説明図（4）である。

【図5】本発明の実施の形態におけるRZ信号の生成回路の構成図である。

【図6】本発明の実施の形態におけるデューティー可変回路の構成図である。

【図7】本発明による光通信システムの実施の形態の全体構成図である。

【図8】DSFファイバにおけるゼロ分散波長と信号光波長の説明図である。

【図9】デジタル信号を示す図である。

【図10】信号光の波長の分散を示す図である。

【図11】分散マネージメントの説明図（1）である。

【図12】分散マネージメントの説明図（2）である。

【図13】相互位相変調の原理図である。

【図14】波長多重方式における伝送特性を示す図である。

【図15】プリエンファシスの原理説明図である。

【図16】NRZ伝送符号化形式におけるパワーによるプリエンファシスの問題点の説明図である。

【図17】波長間隔が狭まることによる問題点の説明図である。

【図18】システムアップグレード時の問題点の説明図である。

【図19】RZ伝送符号化形式の利点の説明図（1）である。

【図20】RZ伝送符号化形式の利点の説明図（2）である。

【符号の説明】

101 光送信器
102 光中継器

103

104

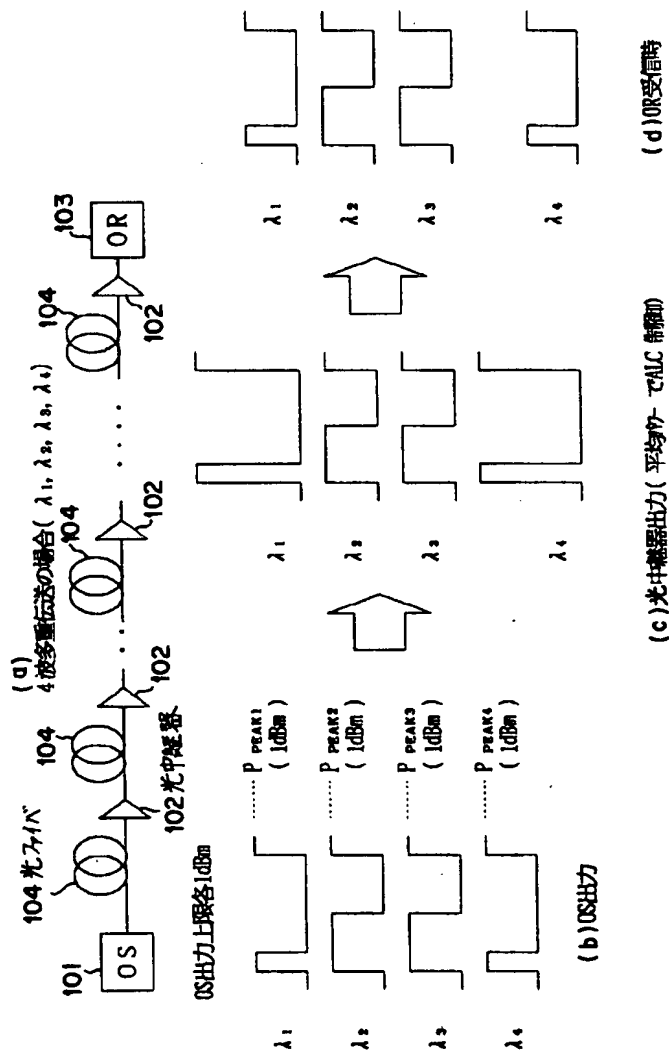
光受信器

光ファイバ

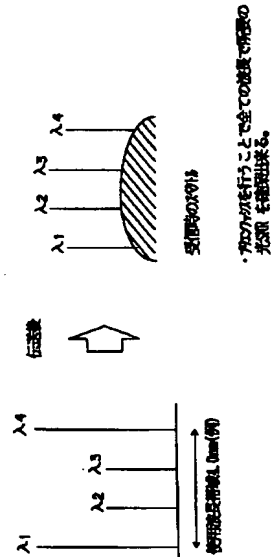
【図1】

【図2】

本発明の実施の形態の原理説明図(1)



本発明の実施の形態の原理説明図(2)



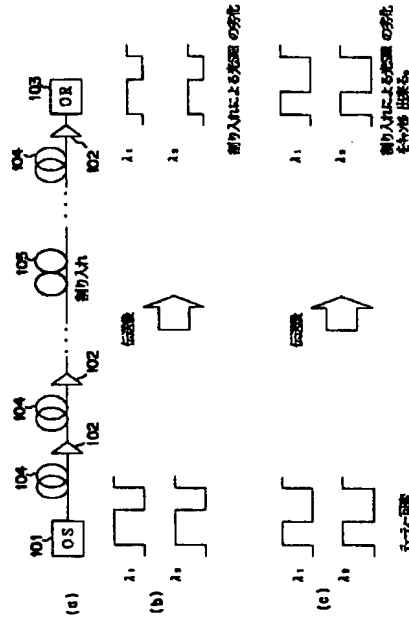
【図9】

デジタル信号を示す図



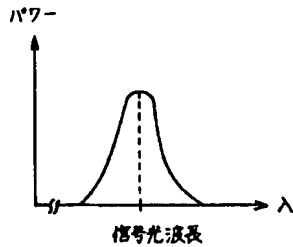
【図3】

本発明の実施の形態の原理説明図(3)



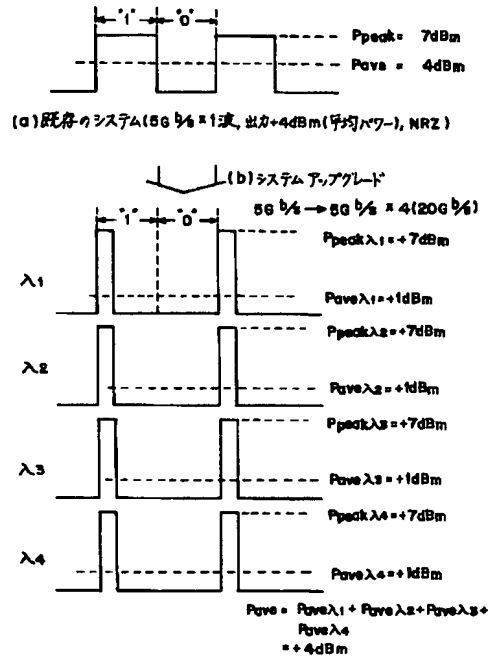
【図10】

信号光の波長の分散を示す図



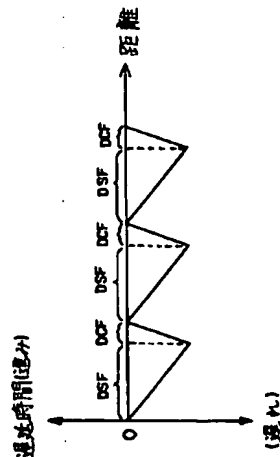
【図4】

本発明の実施の形態の原理説明図(4)



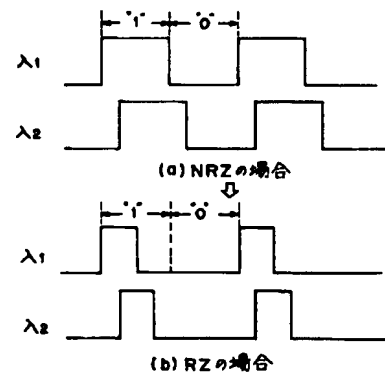
【図11】

分散マネジメントの説明図(1)



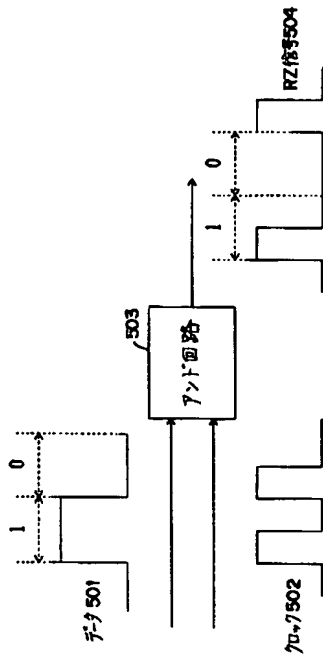
【図19】

RZ伝送符号化形式の利点の説明図(1)



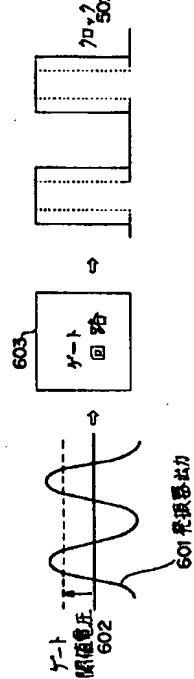
【図5】

本発明の実施の形態におけるRZ信号の生成回路の構成図



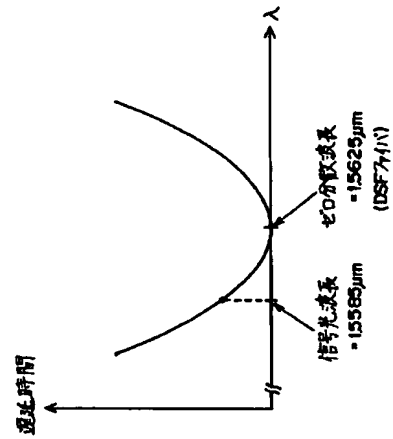
【図6】

本発明の実施の形態におけるデューティ可変回路の構成図



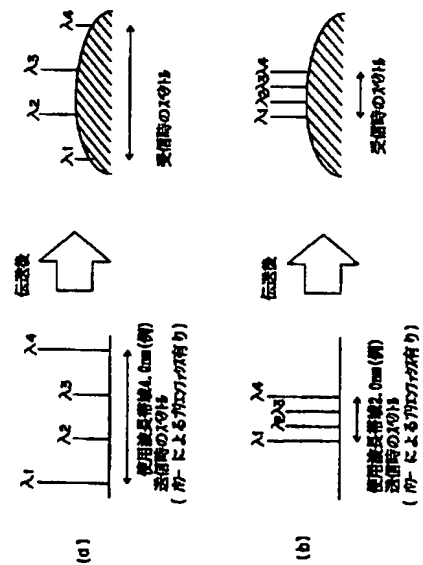
【図8】

DSFファイバにおけるゼロ分散波長と信号光波長の説明図



【図17】

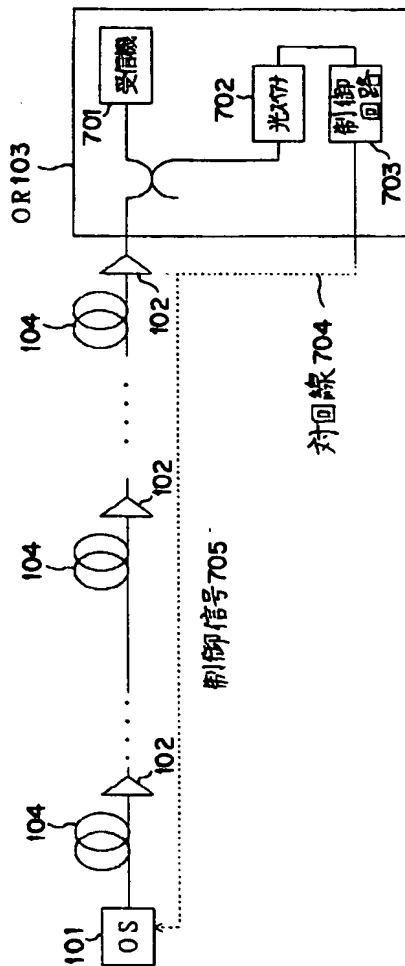
波長間隔が狭まることによる問題点の説明図



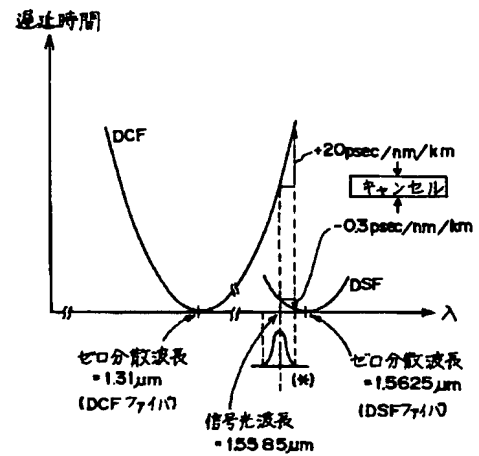
【図7】

【図12】

本発明による光通信システムの実施の
形態の全体構成図

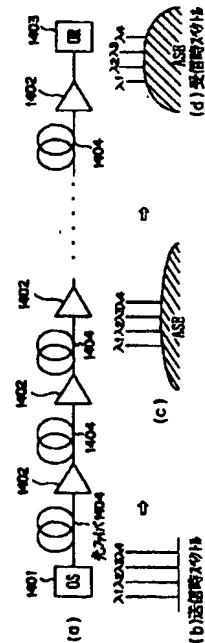


分散マネジメントの説明図(2)

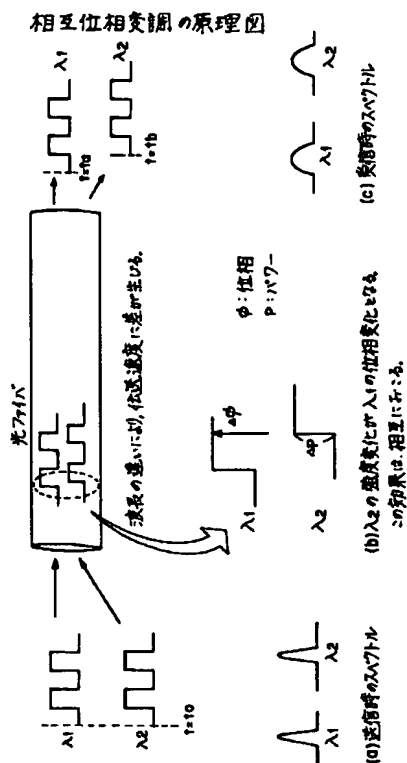


【図14】

波長多重方式における伝送特性を示す図

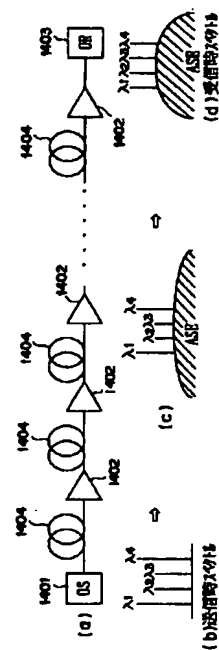


【図13】



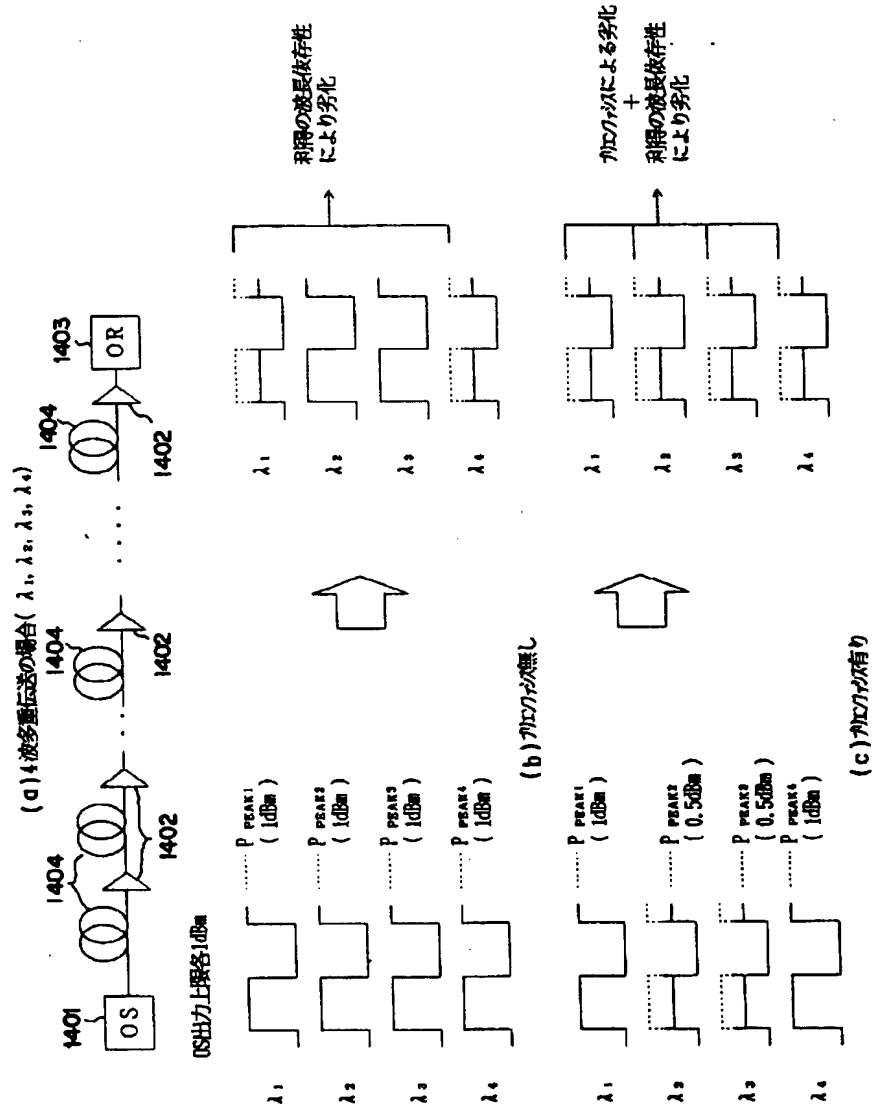
【図15】

ブリエンファシスの原理説明図



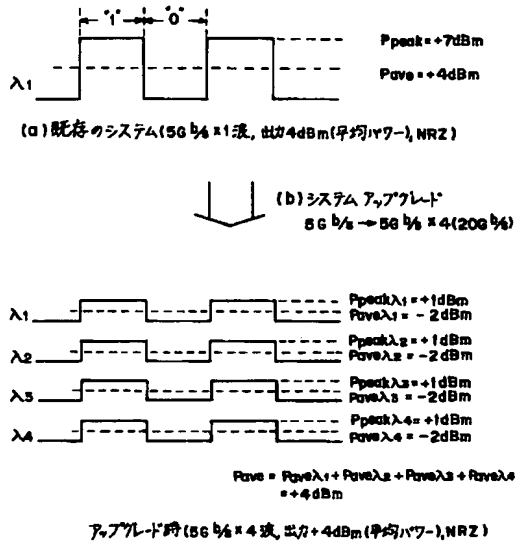
【図16】

NRZ伝送符号化形式におけるパワーによる
フリエンファシスの問題点の説明図



【図18】

システムアップグレード時の問題点の説明図



【図20】

RZ伝送符号化形成の利点の説明図(2)

